

4º Congresso Português de Argamassas e ETICS

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DA SOLUÇÃO ETICS NA ÓPTICA DA IDENTIFICAÇÃO E REPARAÇÃO DE ANOMALIAS



Fernando Jorne
UNL - FCT
Portugal
fjorne@fct.unl.pt

Resumo

Num contexto actual, as preocupações dos projectistas aquando da concepção dos edifícios prendem-se com a análise do comportamento higrotérmico que os mesmos irão apresentar ao longo do seu tempo de vida útil. O comportamento higrotérmico depende de variados parâmetros, particularmente condições climatéricas e tipo de solução construtiva. O presente trabalho surge com o objectivo de estudar o comportamento higrotérmico da solução ETICS em regime variável, com recurso ao programa WUFI, que actualmente é um dos programas comerciais de simulação higrotérmica mais utilizados a nível mundial. A partir das análises higrotérmicas obtidas, consegue-se controlar os valores de temperatura e humidade relativa na parede exterior do edifício. Este controlo permite respeitar exigências de durabilidade das construções e a sua eficiência energética.

Palavras-Chave: ETICS, WUFI, Reabilitação, Eficiência Energética e Durabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A concepção de fachadas de edifícios tem sofrido nas últimas décadas uma grande evolução. Tendo em vista a resposta às crescentes exigências de conforto higrotérmico associadas às preocupações com o consumo de energia e protecção ambiental, tornou-se primordial isolar termicamente a envolvente dos edifícios. Deste modo, consegue-se minimizar as trocas de calor com o exterior, com consequente redução das necessidades de aquecimento/arrefecimento e diminuição dos riscos de ocorrência de condensações [2]. Como tal, têm sido desenvolvidos diversos sistemas de isolamento térmico, nomeadamente sistemas aplicados exteriormente ao nível de fachada. No presente artigo abordou-se o sistema ETICS- *External Thermal Insulation Composite Systems With Rendering* - que designa os sistemas compostos por isolamento térmico prefabricado aplicado sobre um suporte, e revestido por um reboco armado realizado em várias camadas. As placas de isolamento térmico podem possuir uma espessura variável de acordo com a resistência térmica que se pretende obter, normalmente entre 40 e 100 mm. Em Portugal as espessuras mais comuns são da ordem de 40 mm a 60 mm. O tipo de isolante térmico mais utilizado em Portugal é o EPS (poliestireno expandido moldado), mas também se usam o XPS (poliestireno expandido extrudido) e o ICB (placas de aglomerado de cortiça) [3].

O presente artigo surge com o objectivo de estudar o comportamento higrotérmico da solução ETICS face a outras soluções construtivas utilizadas correntemente no património edificado. Para tal recorre-se ao programa WUFI, que actualmente é um dos programas comerciais de simulação higrotérmica em regime variável mais utilizados a nível mundial. A partir das análises higrotérmicas obtidas, consegue-se controlar os valores de temperatura e humidade relativa na parede exterior de um edifício. Este controlo, além de contribuir para um aumento da eficiência energética, permite respeitar exigências de durabilidade das construções, ao evitar diversas anomalias (por exemplo expansão higrotérmica proveniente das solicitações higrotérmicas).

No caso concreto deste trabalho, a realização de simulações higrotérmicas permite comparar o comportamento da solução ETICS face a outras soluções construtivas, no que refere ao risco de ocorrência de condensações internas e ao aparecimento do fenómeno de termoforese na envolvente exterior. Outro assunto abordado é a análise da influência da localização do isolante térmico nos valores de temperatura e teor de água no pano de alvenaria. De acordo com *Kunzel* [1] existe uma relação entre a temperatura e a capacidade de secagem da parede (material higroscópico), sendo que a uma maior temperatura está associada uma maior capacidade de secagem resultando numa diminuição do fluxo de calor. Assim, será importante observar de que forma a localização do isolamento térmico pode contribuir para um controlo apropriado de humidade na alvenaria, que é um dos pré-requisitos para a eficiência energética.

2. SOFTWARE DE SIMULAÇÕES HIGROTÉRMICAS

Ao nível da engenharia civil e Arquitectura, bem como para efeitos de preservação e património, tem havido uma crescente evolução dos métodos de cálculo para avaliar e prever a longo prazo o desempenho higrotérmico da envolvente da construção. No passado, estas avaliações, previsões foram em grande parte realizadas com base em ferramentas de cálculo simplificadas, como o método de *Glaser* [5], onde é feita uma análise em regime estacionário. Actualmente, já existem no mercado ferramentas de simulação higrotérmica que permitem simular a transferência de calor e humidade em regime variável, nomeadamente o programa WUFI 4.2 [6]. Este modelo baseia-se na norma EN 15026 [7]. Assim, para se proceder ao cálculo de simulações higrotérmicas, é necessário introduzir um conjunto de propriedades higrotérmicas para cada material [vd.Fig. 1]: massa volúmica (kg/m^3), porosidade (m^3/m^3), calor específico (J/kgK), teor de humidade em volume aparente (kg/m^3) vs. humidade relativa (%), coeficiente de transporte líquido (m^2/s) vs. teor de humidade em volume aparente (kg/m^3), condutibilidade térmica (W/mK) vs. teor de humidade em volume aparente (kg/m^3) e factor de resistência à difusão do vapor de água vs. humidade relativa (%). Além disso, é necessário definir a solução construtiva, a orientação, inclinação e altura do edifício, as condições de fronteira (clima exterior e interior), as condições iniciais de temperatura e humidade relativa nas camadas que compõem a solução construtiva e o período de simulação.

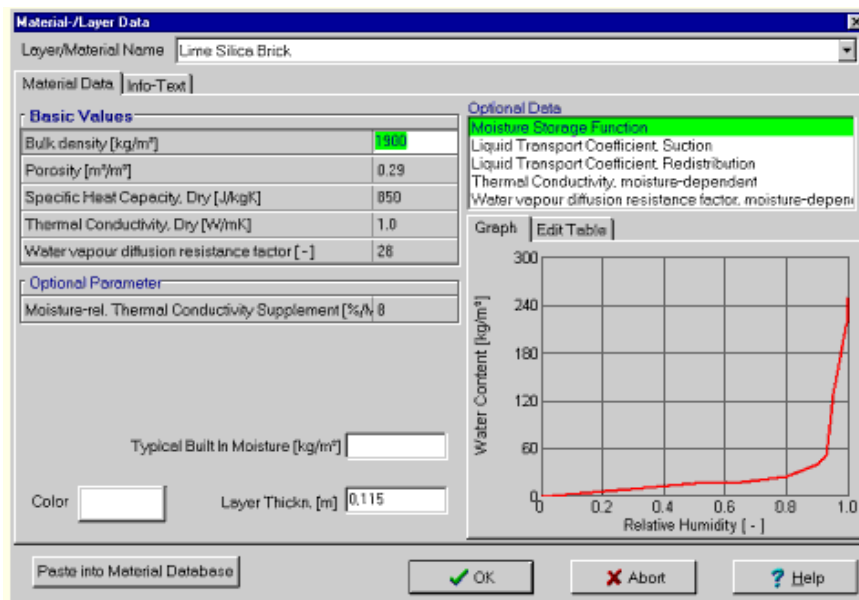


Fig. 1 – Menu do WUFI 4.2 para a introdução das propriedades dos materiais [6]

O WUFI 4.2 permite conhecer a variação ao longo do tempo da temperatura e do teor de humidade no elemento construtivo. Fornece também o perfil do teor de humidade ao longo do elemento construtivo. Tais grandezas serão expostas posteriormente, servindo como elementos de análise para a solução construtiva ETICS.

3. CASO DE ESTUDO

As soluções construtivas que foram usadas nas simulações higrotérmicas são as observadas na Fig. 2. Nas 3 soluções existe uma camada de isolamento térmico XPS de 4cm, localizada em diferentes posições. A zona estrutural é composta por uma viga de betão armado de 22cm, enquanto que a zona corrente apresenta um pano de alvenaria cerâmica de 22cm, excepção feita à solução com isolante térmico entre os panos de alvenaria, em que neste caso cada pano passa a ter 11cm. Em relação aos revestimentos, todas as soluções estão revestidas com um reboco de argamassa de cimento de 1,5cm.

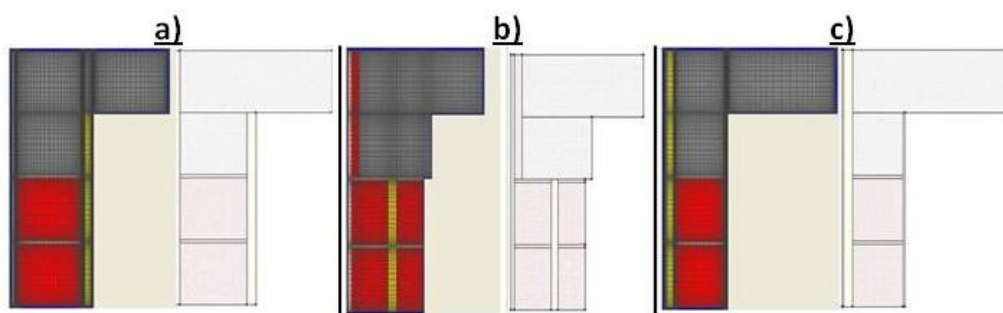


Fig. 2 – Soluções construtivas: a) Isolamento térmico pelo interior; b) Isolamento térmico entre os panos de alvenaria; c) Isolamento térmico pelo exterior (ETICS) [imagem retirada do programa WUFI]

Em traços gerais, no que refere aos *inputs* usados nas simulações higrotérmicas, as soluções construtivas foram as referidas anteriormente. Em relação aos dados do clima exterior, utilizou-se o ficheiro climático disponível no WUFI para a zona de Lisboa com a orientação Sudoeste. A escolha por esta orientação geográfica deve-se às maiores cargas higrotérmicas que esta apresenta face às outras orientações [vd.Fig. 3], o que é relevante tendo em conta o estudo efectuado ao longo do artigo. A temperatura e humidade relativa do ambiente interior são obtidas pela norma EN15026 [7], que é uma das opções que o programa disponibiliza. A inclinação é igual a 90°, uma vez que o elemento em estudo é uma parede vertical. Os cálculos são realizados para um período de simulação de 1 ano, de forma a obterem-se dados meteorológicos suficientes para que se atinja um equilíbrio de humidade dinâmico [4].

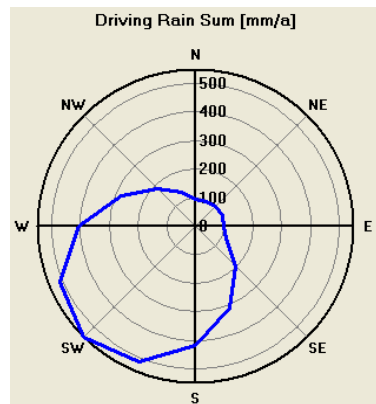


Fig. 3 - Diagrama da chuva incidente para o ficheiro climático de Lisboa [imagem retirada do programa WUFI]

4. SIMULAÇÕES E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

a. Condensações internas

Os problemas provenientes da humidade em edifícios têm sido abordados pelos especialistas desde o início do século passado. A avaliação do risco de ocorrência de condensações internas pode beneficiar com a utilização de modelos de simulação numérica [8].

A ocorrência de condensações internas dá origem ao aparecimento não programado de água líquida no interior dos elementos construtivos, podendo resultar no desenvolvimento de diversas formas de degradação de gravidade variável [9].

A ocorrência de condensações em elementos construtivos depende não só das condições climáticas existentes, como do tipo de materiais empregues na solução construtiva. Assim, tendo em vista a análise do risco de ocorrência de condensações internas, fez-se a avaliação comparativa de soluções construtivas correntes de paredes exteriores de edifícios. Na Fig. 4 apresentam-se os gráficos com os valores de humidade relativa ao longo da secção transversal da parede, para as soluções construtivas e outros *inputs* referenciados no capítulo 3. Ao observarem-se estes gráficos, verifica-se que os valores médios (linha contínua a verde) mais baixos de humidade relativa ocorrem para a solução construtiva de isolamento térmico pelo exterior. Já os valores mais altos ocorrem para a solução construtiva com isolamento térmico pelo interior. A razão para esta ocorrência é devido aos valores de temperatura que o pano de alvenaria apresenta em cada caso. Para o caso do isolamento térmico pelo exterior, o valor médio da temperatura para o pano de alvenaria é mais elevado. Como a humidade relativa varia inversamente com a temperatura [10], é natural que nesta situação existam valores de humidade relativa mais baixos. Outro pormenor que se destaca são as diferentes flutuações no valor da humidade

relativa. Para a solução de isolamento térmico pelo exterior registam-se menores flutuações, pois neste caso o pano de alvenaria está sujeito a um menor gradiente de temperaturas, consequentemente existirá uma menor variação de humidade relativa. Por vezes em paredes com sais higroscópicos, as flutuações da humidade relativa criam maior degradação do que valores sempre elevados, pois não é a humidade relativa ser baixa ou elevada que provoca os danos, mas sim a variação acima ou abaixo do valor crítico¹, que provoca as destrutivas sequências dissolução/cristalização [10]. Assim, facilmente se infere que a solução ETICS contribui para o aumento da durabilidade dos materiais presentes na solução construtiva da parede exterior.

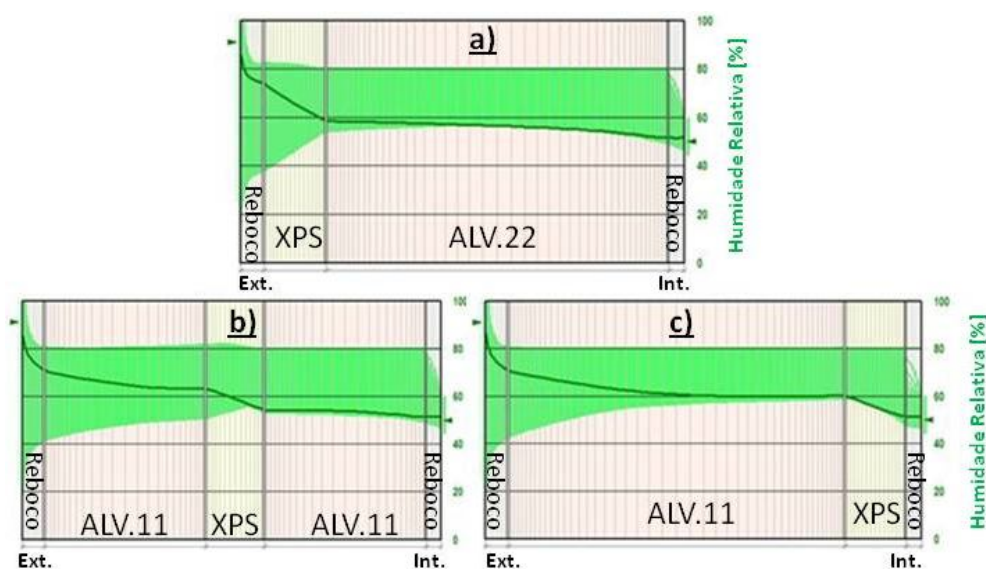


Fig. 4 – Variação da humidade relativa na parede, para as soluções: a) Isolamento térmico exterior; b) Isolamento térmico entre panos de alvenaria; c) Isolamento térmico interior [imagem retirada do programa WUFI]

b. Termoforese

A existência de heterogeneidades acentuadas na espessura de isolante térmico nas várias zonas (zona estrutural e corrente) que compõem a envolvente exterior dos edifícios dá origem a uma diferenciação nas temperaturas superficiais exteriores, motivando a ocorrência de fenómenos de termoforese. Este fenómeno consiste na deposição diferencial de poeiras em suspensão [vd.Fig. 5], atingindo uma maior magnitude, para os casos onde

¹ O valor crítico é o valor de humidade relativa que faz a passagem da cristalização para dissolução (caso a humidade relativa esteja a aumentar) ou vice-versa [10].

exista uma maior diferença de temperaturas superficiais entre as várias zonas da envolvente exterior.



Fig. 5 - Fenómeno de termoforese numa fachada com revestimentos à base de ligantes minerais [11]

Na Fig. 6 a) apresentam-se os resultados da temperatura superficial para a solução construtiva com isolamento térmico entre os panos de alvenaria, podendo-se observar que as diferentes resistências térmicas apresentadas pelas zonas analisadas originam diferentes temperaturas superficiais. Deste modo, a zona do tijolo cerâmico (zona corrente) com uma maior resistência térmica, regista uma menor temperatura que a zona de betão armado (zona estrutural), podendo desta forma estarem reunidas as condições para a ocorrência das anomalias presentes na Fig. 5. Em relação às juntas de argamassa registam-se maiores temperaturas (cerca de $1,5^{\circ}\text{C}$) do que na zona do tijolo cerâmico, devido à menor resistência térmica da junta de argamassa. Pela análise bidimensional no WUFI, pode-se também concluir que uma das formas de atenuar estas diferenças de temperaturas entre a zona de tijolo cerâmico e a junta de argamassa é diminuir a espessura desta última, semelhantes resultados foram obtido por Henriques[12].

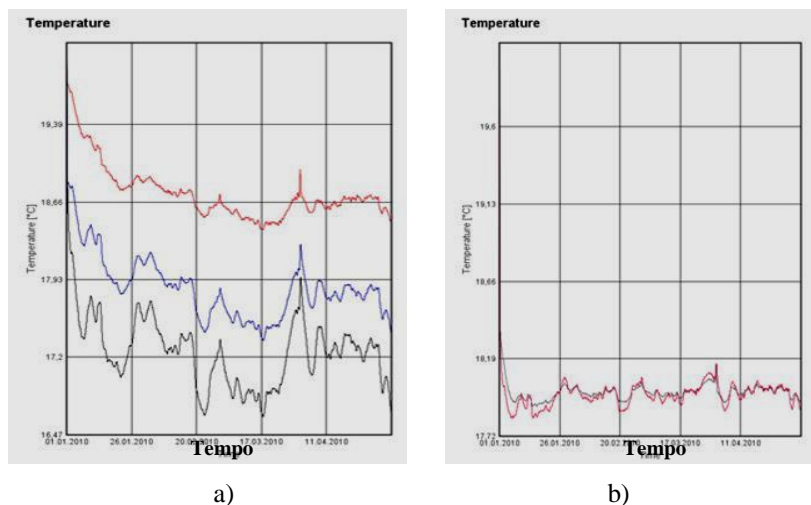


Fig. 6 - Temperatura superficial no paramento exterior da parede exterior: a) solução de isolamento térmico entre os panos de alvenaria; b) solução de isolamento térmico pelo exterior (tijolo cerâmico a preto, junta de argamassa a azul e zona estrutural a vermelho) [imagem retirada do programa WUFI]

Com o objectivo de eliminar estas heterogeneidades ao longo da fachada, considerou-se a colocação de isolamento térmico pelo exterior [vd. Fig. 6 b)]. Nesta solução, ao atenuarem-se as diferenças das resistências térmicas entre a zona estrutural e a zona corrente, faz com que o paramento exterior da parede exterior fique com um comportamento mais homogéneo, uma vez que a temperatura nas duas zonas passa a ser praticamente igual. Este facto é justificado pela totalidade do paramento apresentar isolamento térmico, eliminando-se o fenómeno de termoforese.

Em suma, é importante ter presente que a colocação de isolante térmico pelo exterior (ETICS) permite a eliminação das heterogeneidades das temperaturas superficiais no paramento exterior. Além disso, tem outro aspecto positivo, que é a correcção da ponte térmica que existe ao nível da zona estrutural na parte da laje (que é obrigatório pelo RCCTE[13]), reduzindo de uma forma significativa o fluxo de energia por esta zona.

c. Teor de água / Secagem do pano de alvenaria

A presença de um elevado teor de água numa parede, devido ao impacte da chuva incidente, além de reduzir a resistência térmica da parede, pode levar a danos provocados pela geada ou acelerada deterioração da fachada. Deste modo, é de extrema importância o estudo da influência da localização do isolamento térmico no valor do teor de água no pano de alvenaria.

Vários autores como *Künzel* defendem que a melhor colocação de isolante numa parede é a aplicação pelo exterior da fachada [4]. No entanto, tal solução poderá ser inadmissível, nos casos em que a fachada original tenha que permanecer inalterada por

razões estéticas ou históricas. Nesses casos, a única alternativa possível é um isolamento pelo interior da parede, que tem como consequências uma diminuição da temperatura da alvenaria [vd.Fig. 7], provocando uma redução da capacidade de secagem da humidade de precipitação [vd.Fig. 8]. Observando mais em pormenor a Fig. 7, verifica-se que a colocação de isolante pelo interior faz baixar a temperatura da zona de alvenaria na estação de aquecimento (quando a temperatura interior é maior que a exterior), comparando com as situações de não colocação de isolante e colocação pelo exterior. De facto, para esta situação onde o fluxo de calor tem o sentido do interior para o exterior, a existência de um isolante térmico (que tem uma elevada resistência térmica) pelo interior da solução construtiva, provoca uma redução enorme da temperatura logo no interior. Isto dá origem a que a temperatura na alvenaria seja mais baixa comparativamente a uma solução com isolante térmico pelo exterior, onde a redução brusca da temperatura apenas ocorre após a alvenaria. Deste modo, a parede com isolamento térmico pelo exterior terá uma maior capacidade de secagem.

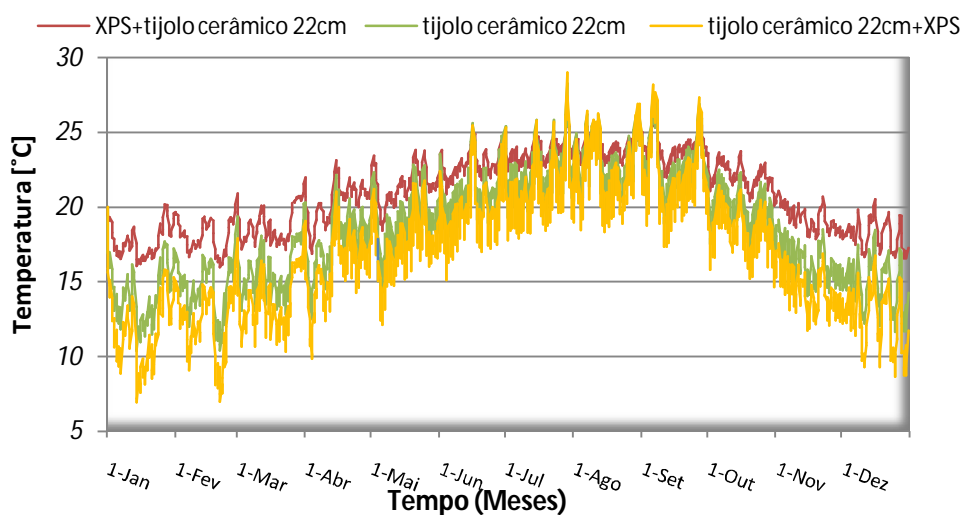


Fig. 7 - Temperatura num ponto a meio da camada de alvenaria, para diferentes soluções construtivas (a linha a vermelho é a solução ETICS)

O gráfico do teor de água na camada de alvenaria ao longo do período de simulação [vd.Fig. 8] está em consonância com o referido anteriormente, isto é, a colocação de isolante pelo exterior faz com que a redução do teor de água (fase de secagem) seja mais pronunciada, existindo um menor valor de teor de água médio na alvenaria ao longo de todo o período de simulação. A capacidade de secagem está intrinsecamente relacionada com a permeabilidade ao vapor de água que o isolante térmico apresente. Assim, caso seja usado um isolante mais permeável ao vapor de água que o XPS (coeficiente de

permeabilidade ao vapor de água - μ igual a 150), como é o caso da lã mineral (μ igual a 1), a capacidade de secagem da parede será ainda mais elevada [14].

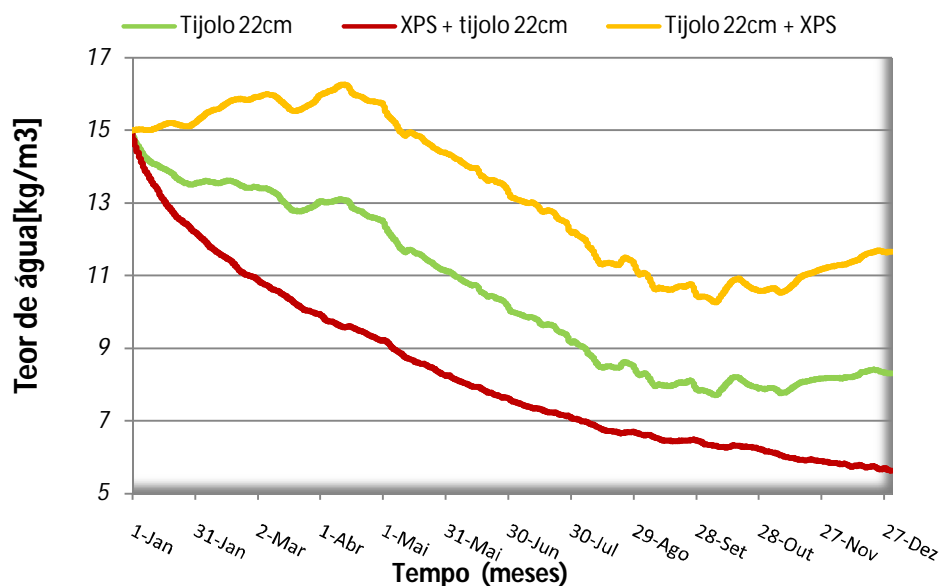


Fig. 8 - Teor de água na camada de tijolo ao longo do período de simulação, para diferentes soluções construtivas (a linha a vermelho é a solução ETICS)

5. CONCLUSÕES

Numa apreciação global aos 3 fenómenos estudados neste artigo, podem-se apurar as seguintes conclusões:

- Analisando o risco de ocorrência de condensações internas, a colocação de isolamento pelo exterior provoca uma redução nas flutuações dos valores de humidade relativa, uma vez que o pano de alvenaria fica sujeito a um menor gradiente de temperaturas. Assim sendo, no caso de uma reabilitação térmica de um edifício que tenha paredes com elevada presença de sais higroscópicos, deve-se optar por colocar o isolante térmico pelo exterior, de forma a evitar ao máximo grandes flutuações de humidade relativa, que podem dar origem às sequências destrutivas dissolução/cristalização, pondo em casa a durabilidade dos materiais presentes na parede.

- Ao nível do risco de ocorrência do fenómeno de termoforese, numa solução de parede com isolamento térmico entre os panos de alvenaria, o risco de ocorrência é elevado. A justificação prende-se com a diferença no resultado das temperaturas superficiais no paramento exterior entre o tijolo cerâmico e a zona das juntas de argamassa e a zona estrutural. No que refere à diferença de temperaturas superficiais entre o tijolo e a zona da junta, pode-se afirmar que a presença do fenómeno de termoforese tem

uma gravidade que é função da espessura da junta. Na solução de ETICS, o paramento exterior passa a ter um comportamento homogéneo ao nível das temperaturas superficiais, eliminando por completo o fenómeno de termoforese.

- Em relação ao teor de água e capacidade de secagem do pano de alvenaria, os resultados são esclarecedores que a colocação do isolante térmico pelo exterior, além de funcionar como uma protecção à chuva incidente, dá origem a valores superiores de temperatura no pano de alvenaria. Deste modo, facilmente se infere que a solução ETICS é aquela que proporciona uma maior capacidade de secagem da parede, o que é fundamental sob o ponto de vista de uma melhor eficiência energética.

Atendendo aos resultados obtidos e à fiabilidade que o programa utilizado garante, pode-se afirmar que a solução ETICS permite facilmente o cumprimento de exigências ao nível do comportamento higrotérmico duma parede exterior. Deste modo, é possível afirmar que a solução ETICS contribui para um aumento da durabilidade de uma parede exterior, comparativamente a outras soluções construtivas mais correntes no património edificado.

6. REFERÊNCIAS

- [2] Henriques, Fernando M.A. - *Comportamento Higrotérmico de Edifícios*. Lisboa, UNL-FCT, 2007.
- [3] Veiga, M.R.; Malanho, S. *Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo exterior (ETICS): Comportamento global e influência dos componentes*. APFAC 2010, 18-19/03/2010.
- [4] Künzle, H. - *Effect of interior and exterior insulation on the hygrothermal behaviour of exposed walls*. Germany, Fraunhofer-Institute of Building Physics, 1998.
- [5]] ENISO13788 - *Hygrothermal performance of building component and building elements - Internal Surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation - Calculation methods*. Brussels, CEN, July 2001.
- [6] <http://www.wufi.de/> (20/12/2011)
- [7] CEN, *EN 15026: Hygrothermal performance of building components and building elements – Assessment of moisture transfer by numerical simulation*, 2007.
- [8] Freitas, V.P. et al – *Propriedades Higrotérmicas Utilizadas em simulação Numérica*. Porto, PATORREB2009, 2009.
- [9] Freitas, V.P. et al – *Análise de Condensações Internas em Paredes – Aplicação de Modelos de diferentes complexidades*. Porto, PATORREB 2009, 2009.
- [10] Henriques, Fernando M.A.- *Humidade em Paredes*. Lisboa, LNEC, 1994.
- [11] Freitas, V.P.; Alves, M.S. - *Ficha B11B PATORREB, Parede Exterior - Termoforese*. PATORREB, FEUP, APFAC.

- [12] Henriques, Fernando M.A.- *Heterogeneidades em Elementos da Envolvente Exterior de Edifícios*. Lisboa, UNL-FCT.
- [13] RCCTE - *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, Decreto-Lei N° 80/2006. Lisboa, PORTO EDITORA, 2006.
- [14] EN 12524:2000 – *Building materials and products. Hygrothermal properties*. Tabulated design values. Brussels, CEN, July 2000.